



Giovanni Gavelli

RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI

Identificazione delle sorgenti e valutazione del rischio

[Scheda sul sito >](#)



Effetti biologici delle ROA - Limiti di esposizione ✓
Aziende metalmeccaniche e ospedaliere ✓
Fonderie e stampaggio a caldo - Centri estetici - Collaudo sistemi LED ✓
Marcatura laser - Altre sorgenti - Indice UV e radiazione solare ✓

Giovanni Gavelli

RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI

Identificazione delle sorgenti e valutazione del rischio



Dario Flaccovio Editore

Giovanni Gavelli

RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI - Identificazione delle sorgenti e valutazione del rischio

ISBN 978-88-579-0379-8

© 2014 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: novembre 2014

Gavelli, Giovanni <1967->

Radiazioni ottiche artificiali : identificazione delle sorgenti e valutazione del rischio /

Giovanni Gavelli. - Palermo : D. Flaccovio, 2014.

ISBN 978-88-579-0379-8

1. Radiazioni elettromagnetiche – Rischi.

539.2 CDD-22 SBN PAL0274336

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, novembre 2014

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

Indice

Premessa

1. Generalità

1.1. Le radiazioni ottiche artificiali.....	pag. 11
1.2. Lunghezza d'onda.....	» 11
1.3. Radiazioni coerenti e incoerenti	» 12
1.4. Classificazione laser	» 13
1.5. Radiazioni ottiche artificiali considerate non pericolose	» 15
1.6. Riferimenti normativi	» 16

2. Definizioni

2.1. L'irradianza E	» 17
2.2. L'esposizione radiante	» 18
2.3. La radianza L	» 19
2.4. Dimensione della sorgente.....	» 20

3. Cenni sugli effetti biologici delle ROA

3.1. Generalità.....	» 23
3.2. Iterazioni con i tessuti biologici.....	» 23
3.3. Soggetti sensibili ed effetti biologici.....	» 25

4. Limiti di esposizione

4.1. Limiti di riferimento per l'occhio sorgenti UV	» 27
4.2. Limiti di esposizione per l'occhio sorgenti visibili	» 29
4.3. Limiti di esposizione per l'occhio alle sorgenti IRA.....	» 30
4.4. Limiti di esposizione per l'occhio sorgenti IRB-IRC.....	» 30
4.5. Limiti di esposizione per la pelle.....	» 31

5. Valutare il rischio ROA

5.1. Elenco indicativo delle radiazioni ottiche potenzialmente pericolose.....	»	33
5.2. Indice di rischio	»	34
5.3. Valutazione del rischio.....	»	34

6. Aziende metalmeccaniche

6.1. Premessa	»	37
6.2. Protezione dalla saldatura ad arco	»	37
6.3. Taglio lamiera laser CO ₂	»	40
6.4. Taglio al plasma.....	»	41
6.5. Taglio lamiera e saldobrasatura con gas acetilene.....	»	42

7. Aziende ospedaliere

7.1. Premessa	»	45
7.2. Lampade combinate IR e UV	»	45
7.3. Lampade IR	»	47
7.4. Laser	»	48
7.5. Lampade UVC sterilizzatrici	»	49
7.6. Lampade scialitiche	»	50
7.7. Transilluminatori sul visibile.....	»	50
7.8. Transilluminatori UV.....	»	50

8. Fonderie e stampaggio a caldo

8.1. Premessa	»	53
8.2. Aperture di forni	»	54
8.3. Colata metalli fusi e avvicinamento siviere.....	»	56
8.4. Stampaggio a caldo.....	»	57
8.5. Flash dovuto alla combustione del magnesio	»	58
8.6. Piccoli forni	»	58
8.7. Marcatura DPI per fonderia.....	»	59

9. Centri estetici

9.1. Premessa	»	61
9.2. Lampade abbronzanti	»	61
9.3. Laser epilatori	»	62

10. Collaudo sistemi led

10.1. Premessa	»	65
10.2. Collaudo led 365 nm 3W UVA.....	»	65
10.3. Collaudo led IR 700 nm.....	»	66
10.4. Collaudo sistemi multi-led bianchi.....	»	66

11. Marcatura laser

11.1. Premessa	»	69
11.2. Misure di sicurezza generali	»	69
11.3. Scelta dei DPI	»	71

12. Fiamme libere

12.1. Premessa	»	73
12.2. Operazioni di fiammaggio	»	74
12.3. Stesura asfalto e scollaggio a caldo	»	76
12.4. Saldatura a ossidrogeno orafa.....	»	76

13. Altre sorgenti

13.1. Sorgenti presenti in uffici.....	»	79
13.2. Tavoli luminosi costituiti da tubi fluorescenti	»	79
13.3. Lampade UV a corredo di magnetoscopi	»	80
13.4. Lampade polimerizzanti in luce blu	»	81
13.5. Fibre ottiche e teodoliti.....	»	81
13.6. Irraggiamento UV telai stampa.....	»	82
13.7. Lampade UV portatili	»	82
13.8. Laser in classe 2 utilizzati come fine corsa.....	»	83

14. Indice UVI e radiazione solare

14.1. Esposizione alla radiazione solare	»	85
14.2. Indice UVI	»	85
14.3. Fototipi e rischio UV	»	86

Bibliografia	»	89
---------------------------	----------	-----------

Premessa

Nel presente testo vengono valutate e descritte un certo numero di sorgenti di radiazioni ottiche artificiali (ROA) prodotte da macchinari utilizzati in ambito lavorativo e civile. La trattazione si sviluppa introducendo i termini e i concetti base del Decreto Legislativo 81 del 2008 Capo VIII Titolo V e prosegue con la presentazione di alcuni esempi pratici di valutazione del rischio da radiazioni ottiche artificiali. Queste tipologie di radiazioni ottiche sono già presenti in natura, come per esempio nella radiazione solare, ma possono essere generate anche durante lavorazioni industriali come la saldatura ad arco (ultravioletti, luce blu visibile) o la fusione di metalli (infrarossi). Nuove tipologie di sorgenti, non presenti in natura fino a una settantina di anni orsono, sono costituite dalle sorgenti laser e dai diodi a semiconduttore (LDE). Come verrà trattato successivamente tutte le radiazioni sopra elencate possono, in determinate condizioni, creare un danno biologico all'uomo in particolare all'occhio e alla pelle se non sufficientemente protetti. Relativamente agli effetti biologici sul lungo periodo occorre considerare il fatto che i raggi ultravioletti sono stati recentemente riclassificati come *cancerogeni* dall'agenzia internazionale di ricerche sul cancro (IARC). I risultati di oltre venti studi epidemiologici hanno evidenziato, per i soggetti che hanno fatto uso delle lampade abbronzanti prima dei 30 anni di età, un aumento del rischio di melanoma cutaneo pari a circa il 75% e un incremento del rischio di melanoma oculare. Questo non vuol dire che necessariamente l'esposizione quotidiana causi effetti biologici avversi ma, in tutti i casi, è importante avere la possibilità di individuare le sorgenti e di classificarne il rischio in funzione dei livelli di riferimento definiti dalla comunità scientifica.

1. Generalità

1.1. Le radiazioni ottiche artificiali

Con il termine radiazioni ottiche artificiali si indicano le radiazioni elettromagnetiche con lunghezza d'onda che vanno da 1mm a 100 milionesimi di millimetro. Lo spettro delle radiazioni ottiche viene normalmente suddiviso in:

- radiazioni ultraviolette (UV)
- radiazioni visibili (VIS)
- radiazioni infrarosse (IR).

Queste tipologie di radiazioni ottiche sono già presenti in natura, come per esempio nella radiazione solare, ma possono venire generate anche nelle lavorazioni industriali come per la saldatura ad arco (UV + luce blu visibile) o la fusione di metalli (IR). Nuove tipologie di sorgenti, non presenti in natura fino a circa settant'anni fa, sono quelle laser e i diodi a semiconduttore (LED). Come si vedrà successivamente, tutte le radiazioni sopra elencate possono, in determinate condizioni, creare un danno biologico all'uomo, in particolare all'occhio e alla pelle se non sufficientemente protetti.

1.2. Lunghezza d'onda

Come per tutte le radiazioni elettromagnetiche, il parametro che permette di classificare le radiazioni ottiche è la lunghezza d'onda. La lunghezza d'onda è definita come il rapporto tra la velocità dell'onda e la frequenza dell'onda stessa.

$$\lambda = \frac{C}{\nu} \quad (1.1)$$

dove

λ = lunghezza d'onda espressa usualmente in nanometri (nm)

C = velocità della luce

ν = frequenza (Hz).

Descrivere un'onda con la lunghezza d'onda o con la frequenza è perfettamente equivalente essendo legate solo dalla velocità dell'onda stessa.

La velocità delle onde elettromagnetiche nel vuoto è pari alla costante C che vale circa 300.000 km/s, in un mezzo trasparente (acqua, vetro) risulta generalmente minore; per esempio nel vetro risulta pari a circa 197.000 km/s. La frequenza che si misura in hertz (Hz) rappresenta il numero di cicli al secondo. La lunghezza d'onda, in un grafico dove in ordinata è riportato lo spazio e in ascissa l'ampiezza, è identificata come la distanza tra due picchi.

Tabella 1.1. Lunghezze d'onda e bande

Banda	IR-C	IR-B	IR-A	Visibile	UV-A	UV-B	UV-C
λ (nm)	1000000-3000	3000-1400	1400-780	780-400	400-315	315-280	280-100

Le radiazioni elettromagnetiche trasportano, inoltre, un'energia che è strettamente legata alla lunghezza d'onda λ :

$$E = h \cdot \frac{C}{\lambda} \quad (1.2)$$

dove h è la costante di Plank che vale circa $6,63 \times 10^{-34}$ J/s. L'energia viene ceduta ai tessuti biologici con modalità diverse in funzione della lunghezza d'onda, ovvero più la lunghezza d'onda è piccola più l'energia ceduta aumenta; per esempio le radiazioni ultraviolette trasportano un'energia maggiore della luce visibile e quindi sono potenzialmente più pericolose.

1.3. Radiazioni coerenti e incoerenti

Un'altra caratteristica che distingue le radiazioni ottiche è che, volendo, possono essere suddivise in due macro categorie:

- radiazioni coerenti
- radiazioni incoerenti.

Le radiazioni coerenti sono essenzialmente quelle generate da sorgenti laser e sono caratterizzate dal fatto che tutte le onde generate sono in fase e hanno la stessa frequenza. Questo è il motivo per cui le radiazioni laser riescono a cedere energia in modo più efficace rispetto alle incoerenti; vengono infatti utilizzate per esempio nel taglio delle lamiere, per la marcatura dei manu-

Tabella 6.3. Esempio di scelta della protezione per saldobrasatura

Numero di scala protezione	Quantità in litri di acetilene utilizzato all'ora (Q)
4	$Q < 70$
5	$70 < Q < 200$
6	$200 < Q < 800$
7	$Q > 800$

Tabella 6.4. Esempio di scelta della protezione per taglio

Numero di scala protezione	Quantità in litri di ossigeno utilizzato all'ora (Q)
Q	$900 < Q < 2000$
6	$2000 < Q < 4000$
7	$4000 < Q < 800$

Anche se, rispetto alla saldatura ad arco, le radiazioni emesse dai sistemi ad acetilene ossigeno diminuiscono più velocemente all'aumentare della distanza, si consiglia di attuare tutte le misure di prevenzione definite per la saldatura ad arco (schermi, cartelli).



Figura 6.5. Maschera di protezione per saldatori

7. Aziende ospedaliere

7.1. Premessa

Nelle aziende ospedaliere (ambulatori) possono essere presenti le seguenti sorgenti ROA:

- lampade combinate IR e UV
- lampade IR pure
- laser CO₂ (10600 nm)
- laser YAG (1060 nm)
- laser IR (580 nm)
- lampade UVC sterilizzatrici
- lampade scialitiche
- trans illuminatori.

Nel presente capitolo si valuterà esclusivamente l'esposizione degli operatori (infermieri, medici) non entrando nel merito degli aspetti medici delle applicazioni.

7.2. Lampade combinate IR e UV

La lampada può emettere due tipologie di radiazioni ottiche:

- irraggiamento infrarosso (IR) tramite lampada da 1000 W;
- irraggiamento UV prevalente sugli UVA.

Per stimare l'irraggiamento infrarosso si è utilizzata la seguente formula:

$$Er = \frac{P \cdot A}{R^2} \quad (7.1)$$

dove

Er = irradianza W/m²

Tabella 8.2. Esempio di marcatura di DPI per infrarossi

Temperatura	Numero di scala
Fino a 1050 °C	EN 171 4-1.2
1070 °C	EN 171 4-1.4
1190 °C	EN 171 4-3
1510 °C	EN 171 4-6

Il DPI marcato EN 171 4-1.2 si può reperire con un grado di colore molto lieve ovvero è possibile effettuare tutte le operazioni senza ridurre sensibilmente la visibilità. I DPI trasparenti (occhiali/maschere) non schermano sufficientemente la componente infrarossa termica invisibile ma possono proteggere da eventuali schizzi, di conseguenza sarà necessario applicare entrambi i filtri.

9. Centri estetici

9.1. Premessa

Nei centri estetici possono essere presenti le seguenti sorgenti ROA:

- lampade abbronzanti UV
- laser epilatori YAG/visibile.

Nel presente capitolo si valuterà esclusivamente l'esposizione degli operatori non entrando nel merito degli aspetti medici delle applicazioni.

9.2. Lampade abbronzanti

Le sorgenti di radiazione ultravioletta (UV) e le varie apparecchiature nelle quali esse sono opportunamente collocate (solarium, lettini) vengono impiegate per irradiare la pelle al fine di produrre vari fenomeni fotochimici che si traducono in una pigmentazione della pelle esposta (abbronzatura fotoindotta). Le lampade abbronzanti emettono, nella maggior parte dei casi, per circa il 70% radiazione ultravioletta UVA e, per il restante, radiazione UVB. Le componenti UVC dovrebbero essere filtrate da pannelli in metacrilato o direttamente dal cristallo delle lampade. Gli addetti normalmente accompagnano il cliente nel box, accendono i sistemi e escono di conseguenza l'esposizione in questa fase lavorativa è da ritenersi trascurabile. Occorre però tenere presente che le postazioni fisse (reception, massaggi) non devono essere gravate da fasci riflessi ovvero bisogna fare in modo che all'esterno dei box non si manifestino fasci riflessi in particolare emessi da lettini e da lampade UV facciali. Le esposizioni alle radiazioni ultraviolette possono portare a un invecchiamento prematuro della cute così come indurre un aumento del rischio di sviluppo di neoplasie cutanee. L'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro ha infatti classificato nel 2009 i dispositivi che emettono radiazione UV per l'abbronzatura artificiale come cancerogeni per l'uomo. È necessario quindi prendere le seguenti precauzioni:

- angolo $\theta = 45^\circ$
- distanza operatore = 1 m.

Svolgendo i calcoli si ottiene un'esposizione pari a:

$$E_{IR} = 25 \text{ W/m}^2$$

Valore molto inferiore al limite n per tempi superiori a 1000 secondi.

12.3. Stesura asfalto e scollaggio a caldo

Durante la stesura dell'asfalto e lo scollaggio a caldo le temperature rimangono al di sotto dei 100°C , di conseguenza l'emissione IR dei materiali riscaldati rimane trascurabile. Essendo però la temperatura della fiamma non molto elevata risulta predominante l'emissione nella banda IR. L'esposizione dell'operatore dipende dall'estensione della fiamma, dalla distanza dall'operatore e dalle modalità di utilizzo. In alcuni casi, in particolare durante la stesura dell'asfalto, si sono evidenziati valori di esposizione superiori a 100 W/m^2 , di conseguenza è consigliata un'accurata valutazione ed eventualmente l'utilizzo di occhiali filtro marcati EN 171 4-1.

12.4. Saldatura a ossidrogeno orafa

La saldatura a ossidrogeno viene utilizzata in quei casi in cui sono necessarie saldature prive di agenti contaminanti e un'alta temperatura. La fiamma a ossidrogeno viene prodotta bruciando idrogeno e ossigeno in proporzioni stechiometriche, la fiamma risulta invisibile all'occhio umano e il prodotto della combustione è essenzialmente acqua. In alcuni casi, per poter vedere la fiamma, il gas viene fatto passare attraverso una soluzione chimica in grado di cedere un agente tracciante. Nelle applicazioni orafe la superficie dei metalli saldati o riscaldati è piuttosto piccola ma risulta molto ridotta anche la distanza dal punto saldato all'occhio dell'operatore rispetto ad altre tipologie di lavorazioni. In questo caso, per valutare l'esposizione, assumiamo come dati di partenza i seguenti:

- temperatura oro = 1000°C
- superficie emittente $A = 0,0001 \text{ m}^2$
- emissività oro $\varepsilon = 0,02$
- angolo $\theta = 0^\circ$
- distanza = 0,10 m.

Svolgendo i calcoli si ottiene un'esposizione pari a:

$$E_{IR} = 120 \text{ W/m}^2$$

Valore superiore al limite n per tempi superiori a 1000 secondi, di conseguenza l'addetto dovrà essere dotato di adeguati DPI, in particolare di occhiali filtro marcati EN 171 4-1.

13. Altre sorgenti

13.1. Sorgenti presenti in uffici

Le indicazioni operative del coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle regioni e delle province autonome consentono di poter giustificare le apparecchiature da ufficio come non pericolose per l'uomo. Per *sorgenti giustificate* si intende che se le apparecchiature sono usate nelle normali e previste condizioni d'uso sono da ritenersi non pericolose. Esempio di sorgenti giustificate sono:

- illuminazione standard per uso domestico e di ufficio;
- lampade da tavolo;
- monitor dei computer;
- display;
- fotocopiatrici;
- mouse;
- puntatori laser classe 1 e 2 (penne, termometri).

Particolare attenzione va prestata alla collocazione di illuminazione a led in quanto, se non correttamente installata, può creare fenomeni di abbagliamento e di esposizione indebita a luce blu. I fasci di luce generati da proiettori in visione diretta e quindi poco probabile, sono in grado di far superare il limite c. in pochi secondi di esposizione.

13.2. Tavoli luminosi costituiti da tubi fluorescenti

Normalmente i tavoli luminosi sono costituiti da tavoli nei quali sono collocati tubi fluorescenti separati dal piano di appoggio tramite un pannello trasparente in metacrilato. Tutti i materiali plastici schermano agevolmente le componenti UVC ma, a distanze così ravvicinate, è stata rilevata una componente residua UVA dell'ordine dei 50 mW/m^2 trascurabile. Il limite di esposizione assunto risulta il limite d. in radianza con angolo maggiore di 11 mrad (sor-